



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 34 588.0

**Anmeldetag:** 30. Juli 2002

**Anmelder/Inhaber:** ROBERT BOSCH GMBH,  
Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Bauteil eines Verbrennungsmotors mit einem  
tribologisch beanspruchten Bauelement

**IPC:** F 02 B, F 02 M

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 10. April 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

24.07.02 Kut/Oy

5 ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

Bauteil eines Verbrennungsmotors mit einem tribologisch beanspruchten Bauelement

10

Die Erfindung betrifft ein Bauteil eines Verbrennungsmotors, insbesondere ein Einspritzsystem oder ein Einspritzventil, mit einem tribologisch beanspruchten Bauelement, dessen Verwendung sowie einen Gasmotor mit diesem Bauteil nach der Gattung des Hauptanspruches.

15

Stand der Technik

20

In Gasmotoren werden teilweise Ventile auf Basis von Benzin-Einspritzventilen eingesetzt. Da das bislang in der Regel zum Einsatz kommende Erdgas aufgrund öligedichteter Kompressoren einen geringen Anteil von Öl enthält, besitzen die eingesetzten Ventile eine ausreichend lange Funktionsdauer, da schon geringste Mengen von Öl für einen zuverlässigen Betrieb ausreichen.

25

Bei zukünftigen Anwendungen ist jedoch damit zu rechnen, dass Gasmotoren zunehmend mit ölfrei verdichten und gleichzeitig mit nahezu vollständig insbesondere mit Hilfe eines Kältetrockners getrockneten Gasen betrieben werden.

30

Versuche mit solchen ölfreien, trockenen Gasen bei Motoren mit Benzineinspritzventilen nach dem Stand der Technik haben gezeigt, dass dadurch die Funktionsdauer der Ventile von bisher einigen Tausend Stunden auf wenige Stunden zurückgeht. Insbesondere wurde festgestellt, dass Ventilnadeln bereits nach 10 h bis 100 h Betriebs- oder Versuchsdauer mit trockenem Stickstoff fressen. Diese Problematik betrifft auch weitere trockene Gase wie beispielsweise Wasserstoff.

35

Um einen Verschleißschutz von tribologisch hochbelasteten Bauteilen, beispielsweise in Komponenten von Einspritzsystemen oder Einspritzventilen, bereitzustellen, werden seit

vielen Jahren kohlenstoffhaltige Schichten, insbesondere DLC-Schichten („diamond-like carbon“) oder iC-WC-Schichten eingesetzt. Auch diese versagen jedoch bei einem Einsatz in absolut trockener Umgebung und bringen unter diesen Bedingungen keinerlei Verbesserung gegenüber Bauelementen ohne eine derartige Beschichtung.

Schließlich ist bekannt, dass durch reaktives Sputtern oder eine Arc-Abscheidung anorganische Hartstoffschichten als Verschleißschutzbeschichten für Schneid- und Presswerkzeuge zu einer deutlichen Standzeitverlängerung führen. Bekannte Hartstoffschichten sind Chromnitrid-, Titanitrid-, Zirkoniumnitrid-, Vanadiumnitrid-, Niobnitrid-, Titan-Aluminium-Nitrid-, Chrom-Aluminium-Nitrid- oder Zirkonium-Aluminium-Nitrid-Schichten sowie deren Kombination als Multischichten, beispielsweise der Form Titan-Aluminium-Nitrid/Chromnitrid oder Titanitrid/Vanadiumnitrid oder Titanitrid-Niobnitrid. Daneben ist bekannt, dass derartige Hartstoffbeschichtungen eine hohe Temperaturfestigkeit aufweisen, so dass sie zur Beschichtung von Bohrern und Zerspanwerkzeugen, bei denen im Einsatz Temperaturen von bis zu 600° C auftreten, verwendet werden können, um deren Lebensdauer zu erhöhen.

Aufgabe der Erfindung war die Bereitstellung eines Bauteils eines Verbrennungsmotors, insbesondere ein Einspritzsystem oder ein Einspritzventil, mit einem tribologisch beanspruchten Bauteil, das mit einer Beschichtung derart versehen ist, dass dieses Bauteil auch in einem Verbrennungsmotor eingesetzt werden kann, der mit einem trockenen, insbesondere ölfreien Gas als Brennstoff betrieben wird.

#### Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße Bauteil eines Verbrennungsmotors hat gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil, dass es in trockener Umgebung und/oder ölfreier Umgebung gegenüber einer kohlenstoffhaltigen Beschichtung oder einem Bauelement ohne Beschichtung eine deutlich höhere Beständigkeit gegenüber Verschleiß aufweist.

Insbesondere konnte gezeigt werden, dass mit einer anorganischen Hartstoffbeschichtung versehene Einspritzventile in einem Modellverschleißtest (Schwingverschleiß) gegenüber unbeschichteten Einspritzventilen oder einem mit einer kohlenstoffhaltigen Schicht (DLC-Schicht) versehenen Einspritzventilen deutlich verbesserte Standzeiten unter trockenen und ölfreien Verbrennungsbedingungen in einem Verbrennungsmotor aufweisen.

Dazu wurde ein erfindungsgemäßes Bauteil in Form eines beschichteten Prüfkörpers aus Stahl (100Cr6-Stahl) mit einer oszillierenden Kugel belastet, wobei das Maß für die Beständigkeit der Beschichtung die Zeit bis zu ihrem Versagen ist.

5 Vor allem nitridische anorganische Hartstoffbeschichtungen zeigten in diesem Zusammenhang gegenüber üblichen kohlenstoffhaltigen Schichten deutlich bessere Eigenschaften.

10 Daraus ergibt sich, dass sich die Vorteile von kohlenstoffhaltigen Schichten bei Benzin- oder Diesel-Einspritzsystemen, die Benzin oder Diesel als Umgebungsmedium haben, unter sehr trockenen und/oder ölfreien Umgebungsbedingungen, d.h. bei Einsatz von trockenem, ölfreiem Erdgas oder Wasserstoff, in einen Nachteil verkehren bzw. sich das Aufbringen solcher kohlenstoffhaltiger Schichten als nutzlos erweist, wohingegen der angestrebte Verschleißschutz in diesem Fall durch die erfindungsgemäße anorganische  
15 Hartstoffbeschichtung gewährleistet werden kann.

Dabei ist zu beachten, dass in geschmierten Kontakten normalerweise ein Schmierfilm die beiden Reibpartner trennt, während es unter Mischreibungsbedingungen, d.h. beispielsweise im Bereich der Umkehrpunkte einer oszillierenden Bewegung, oder unter extremen Betriebsparametern, beispielsweise einem Einspritzventil, zu einem Schmierfilmaustritt und damit zu einem direkten Festkörperkontakt der beiden aufeinander reibenden Oberflächen kommt. Gerade unter trockenen, insbesondere ölfreien Betriebsbedingungen bzw. Anwendungen, ist kein trennendes Medium zwischen den beiden aufeinander reibenden Oberflächen vorhanden, so dass sich ein Festkörperkontakt der aufeinander reibenden Oberflächen ausbildet, der über die gesamte Betriebsdauer des Bauteils besteht.  
25 Daher ist dieses so auszulegen, dass dieser „Betriebszustand“ nicht zu einem Fressen oder einem vorzeitigen Versagen führt.

Insgesamt wird durch die erfindungsgemäße anorganische Hartstoffbeschichtungen des tribologisch beanspruchten Bauelementes erreicht, dass diese die Funktion des bei trockenen, ölfreien Bedingungen nicht mehr vorhandenen Schmierfilms zumindest teilweise übernehmen kann. Die anorganische Hartstoffbeschichtung vermeidet somit zunächst den direkten Kontakt zwischen zwei Stahloberflächen oder Metalloberflächen und/oder reduziert deren Adhäsionsneigung. Weiter reduziert sie den Reibwert zwischen den beiden betreffenden Oberflächen und bewirkt eine Art Festkörperschmierung. Schließlich wird  
30 durch die anorganische Hartstoffbeschichtung auch die chemische Reaktivität der aufein-

35

ander reibenden Oberflächen, d.h. der Oberflächen des Gegenkörpers und des Bauelementes, vermindert. Damit bewirkt die erfindungsgemäß vorgesehene anorganische Hartstoffbeschichtung auf dem Oberflächenbereich des tribologisch beanspruchten Bauelementes, dass dieses auch unter nicht geschmierten, absolut trockenen Bedingungen verschleißarm arbeitet.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den in den Unteransprüchen genannten Maßnahmen.

So ist besonders vorteilhaft, wenn sowohl der Gegenkörper als auch das Bauelement in dem Oberflächenbereich, in dem beide bei Betrieb des Bauelementes in reibenden Kontakt miteinander stehen, mit einer zumindest weitgehend anorganischen Hartstoffbeschichtung versehen ist, die bevorzugt einen gleichen Aufbau und/oder eine gleiche Zusammensetzung aufweisen..

Weiter ist vielfach vorteilhaft, wenn die aufgebraachte Hartstoffbeschichtung auf dem Bauelement und/oder auf dem Gegenkörper mehrere Teilschichten aufweist, wie dies im Stand der Technik auch bei der Beschichtung von Schneid- oder Presswerkzeugen üblich ist. In diesem Zusammenhang ist es weiter vorteilhaft möglich, die Hartstoffbeschichtung oder zumindest eine Teilschicht der Hartstoffbeschichtung als Schicht mit einer homogenen, gradierten oder strukturierten Materialzusammensetzung auszuführen.

Zur Erzeugung der anorganischen Hartstoffbeschichtung auf dem Bauelement oder dem Gegenkörper eignet sich besonders ein PVD-Verfahren oder ein PECVD-Verfahren, wie es aus dem Stand der Technik vielfach bekannt ist.

Ganz besonders vorteilhaft ist, wenn die anorganische Hartstoffbeschichtung des Bauelementes und/oder des Gegenkörpers eine nanostrukturierte Schicht ist, insbesondere eine Schicht mit nanokristallinem Titannitrid, das in eine Matrix aus amorphem Siliziumnitrid eingebettet ist.

Das Bauteil des Verbrennungsmotors eignet sich vor allem zum Einsatz in einem Einspritzventil oder einem Einspritzsystem, das mit alternativen gasförmigen und trockenen Kraftstoffen wie Erdgas oder Wasserstoff beaufschlagt wird. Bevorzugt ist das Bauelement oder der Gegenkörper ein Einlassventil, ein Dichtsitz, ein Führungsbereich einer

Einspritznadel oder ein Sitzbereich einer Einspritznadel eines Einspritzsystems oder eines Einspritzventils.

#### Zeichnungen

Die Erfindung wird anhand der Zeichnung und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigt Figur 1 einen Schnitt durch eine Prinzipskizze eines vorderen Teils einer Einspritznadel im Bereich einer Düsenöffnung.

#### Ausführungsbeispiele

Die Erfindung wird am Beispiel einer Einspritzdüse erläutert, in der sich eine relativ dazu bewegte Einspritznadel befindet.

Die Figur 1 zeigt dazu als tribologisch beanspruchtes Bauelement 10 einen vorderen Teil dieser Einspritznadel, die in einem Gegenkörper 11, d.h. im erläuterten Beispiel einen Sitz für die Einspritznadel, bewegt wird. Dabei tritt unter trockenen, ölfreien Verbrennungsbedingungen in einem Verbrennungsmotor, der mit einem Einspritzsystem bzw. einem Einspritzventil mit den Bauteilen gemäß Figur 1 versehen ist, ein nicht geschmierter Festkörperkontakt in einen Oberflächenbereich 12 des Bauelementes 10 gegenüber einem Oberflächenbereich 13 des Gegenkörpers 11 auf. Das Bauteil gemäß Figur 1 ist insbesondere Teil eines Gasmotors wie eines Erdgasmotors oder eines Wasserstoffmotors, und dort wiederum Teil eines Einspritzsystems oder Einspritzventils dieses Motors.

Die Figur 1 zeigt weiter, wie in dem Oberflächenbereich 12 des tribologisch beanspruchten Bauelementes 10 eine zumindest weitgehend anorganische Hartstoffbeschichtung 14 aufgebracht ist. Daneben ist auch in dem Oberflächenbereich 13 des Gegenkörpers 11 eine entsprechende, zumindest weitgehend anorganische Hartstoffbeschichtung 15 vorgesehen. Insofern stehen bei Betrieb der Oberflächenbereich 13 des Gegenkörpers 11 und der Oberflächenbereich 12 des Bauelementes 10 in reibenden Kontakt miteinander, wobei ein nicht geschmierter Festkörperkontakt vorliegt.

Die Dicke der anorganischen Hartstoffbeschichtungen 14, 15 des Bauelementes 10 bzw. des Gegenkörpers 11 liegt bevorzugt jeweils zwischen  $0,5\text{ }\mu\text{m}$  bis  $5\text{ }\mu\text{m}$ , insbesondere  $1\text{ }\mu\text{m}$  bis  $3\text{ }\mu\text{m}$ .

Im Einzelnen sind die anorganischen Hartstoffbeschichtungen 14, 15 gemäß Figur 1 jeweils über ein PVD-Verfahren („physical vapour deposition“) oder ein PECVD-Verfahren („physically enhanced chemical vapour deposition“) abgeschiedene Hartstoffbeschichtungen, die eine carbonitridische, nitridische, oxinitridische oder oxidische Schicht oder mehrere derartige Teilschichten aufweisen oder daraus bestehen.

Bevorzugt ist die Hartstoffbeschichtung 14 des Bauelementes 10 und die Hartstoffbeschichtung 15 des Gegenkörpers 11 eine Schicht ausgewählt aus der Gruppe CrN, TiN, ZrN, VN, NbN, TiAlN, CrAlN oder ZrAlN oder eine Kombination solcher Schichten zu einer Mehrfach- oder Vielfachschicht, insbesondere der Form oder mit der Schichtfolge TiN/VN oder TiN/NbN.

Weiter kann die Hartstoffbeschichtung 14, 15 des Bauelementes 10 und/oder des Gegenkörpers 11 oder eine Teilschicht der Hartstoffbeschichtung 14, 15 auch eine nanostrukturierte Schicht, insbesondere eine Schicht mit nanokristallinem Titanitrid eingebettet in eine Matrix aus amorphem Siliziumnitrid, sein

Schließlich kann zur Erzielung eines auf die jeweilige Anwendung optimierten Verschleißschutzes auch eine Kombinationsschicht oder eine Legierungsschicht mit verschiedenen der erläuterten Schichtsystemen oder nanostrukturierten Schichten vorgesehen sein, wobei diese Schichten oder Teilschichten in ihrer Materialzusammensetzung und ihren Eigenschaften je nach Bedarf homogen, nicht homogen, gradiert oder strukturiert aufgebaut sind.

Wie in Figur 1 gezeigt, wird insbesondere der Führungsbereich einer Einspritznadel mit der anorganischen Hartstoffbeschichtung 14, 15 versehen. Daneben kann jedoch auch der Sitzbereich einer Einspritznadel, beispielsweise zur Verhinderung einer Einspritzmenge trifft, entsprechend beschichtet sein.

Zum Nachweis der verbesserten Eigenschaften des Bauteils eines Verbrennungsmotors unter trockenen, ölfreien Bedingungen wurden Vergleichsversuche durchgeführt.

Dazu wurde ein Prüfkörper aus Stahl (10Cr6) mit einer Beschichtung versehen und anschließend mit einer oszillierenden Kugel belastet. Die Last (Normalkraft) betrug dabei 10 Newton, die Schwingungsweite 200 µm, die Schwingungsfrequenz 40 Hz, die Umgebungstemperatur 50°C, die Prüfzeit 1 Stunde und die Dicke der auf dem Prüfkörper auf-

gebrachten Beschichtung 2  $\mu\text{m}$ . Als Umgebungsmedium wurde trockener Stickstoff mit einer Restfeuchtigkeit kleiner 1% eingesetzt.

- 5 Eine Beschichtung aus diamantähnlichem Kohlenstoff (DLC-Schicht) zeigte unter diesen Bedingungen bereits ein Versagen nach ca. 10 Minuten.

Eine anorganische Hartstoffbeschichtung aus Titannitrid zeigte bei diesem Versuch einen Schichtverschleiß von lediglich 0,2  $\mu\text{m}$ .

- 10 Bei einer anorganischen Hartstoffbeschichtung in Form einer Vielschicht mit der Schichtabfolge CrN/TiAlN wurde bei diesem Versuch ein Schichtverschleiß von 0,3  $\mu\text{m}$  beobachtet.

- 15 Eine Hartstoffbeschichtung mit nanoskaligem Titannitrid, das in eine Matrix aus amorphem Siliziumnitrid eingebettet ist, zeigte unter diesen Bedingungen ebenfalls einen Schichtverschleiß von 0,3  $\mu\text{m}$ .



24.07.02 Ku/Oy

5 ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

Patentanprüche

- 10 1. Bauteil eines Verbrennungsmotors, insbesondere Einspritzsystem oder Einspritzventil, mit einem tribologisch beanspruchten Bauelement (10), insbesondere einer Einspritznadel, mit einem sich bei Betrieb relativ zu einem Gegenkörper (11) bewegenden und dabei tribologisch beanspruchten Oberflächenbereich (12), der mit einer Beschichtung (14) versehen ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung (14) eine zumindest weitgehend anorganische Hartstoffbeschichtung ist.
- 15 2. Bauteil eines Verbrennungsmotors nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei Betrieb ein Oberflächenbereich (13) des Gegenkörpers (11) und der Oberflächenbereich (12) des Bauelementes (10) in reibenden Kontakt miteinander stehen.
- 20 3. Bauteil eines Verbrennungsmotors nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass auch ein oder der Oberflächenbereich (13) des Gegenkörpers (11) mit einer zumindest weitgehend anorganischen Hartstoffbeschichtung (15) versehen ist, die insbesondere einen gleichen Aufbau und/oder eine gleiche Zusammensetzung wie die Hartstoffbeschichtung (14) des Oberflächenbereiches (12) des Bauelementes (10) aufweist.
- 2 4. Bauteil eines Verbrennungsmotors nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei Betrieb zwischen dem Oberflächenbereich (13) des Gegenkörpers (11) und dem Oberflächenbereich (12) des Bauelementes (10) ein insbesondere nicht geschmierter Festkörperkontakt vorliegt.
- 30 5. Bauteil eines Verbrennungsmotors nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Hartstoffbeschichtung (14, 15) des Bauelementes (10) und/oder des Gegenkörpers (11) mehrere Teilschichten aufweist

6. Bauteil eines Verbrennungsmotors nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Hartstoffbeschichtung (14, 15) des Bauelementes (10) und/oder des Gegenkörpers (11) eine Schicht ausgewählt aus der Gruppe CrN, TiN, ZrN, VN, NbN, TiAlN, CrAlN oder ZrAlNn sowie deren Kombination zu einer Mehrfach- oder Vielfachschicht, insbesondere der Form oder mit der Schichtfolge TiN/VN oder TiN/NbN, ist.

7. Bauteil eines Verbrennungsmotors nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Hartstoffbeschichtung (14, 15) des Bauelementes (10) und/oder des Gegenkörpers (11) eine carbonitridische, nitridische, oxinitridische oder oxidische Schicht aufweist, und insbesondere mittels eines PVD-Verfahrens oder eines PECVD-Verfahrens erzeugt worden ist.

8. Bauteil eines Verbrennungsmotors nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Hartstoffbeschichtung (14, 15) des Bauelementes (10) und/oder des Gegenkörpers (11) eine nanostrukturierte Schicht, insbesondere eine Schicht mit nanokristallinem TiN eingebettet in eine Matrix aus amorphem Siliziumnitrid, aufweist.

9. Bauteil eines Verbrennungsmotors nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Hartstoffbeschichtung (14, 15) des Bauelementes (10) und/oder des Gegenkörpers (11) eine Dicke von 0,5 µm bis 5 µm, insbesondere 1 µm bis 3 µm, aufweist.

10. Bauteil eines Verbrennungsmotors nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Bauelement (10) oder der Gegenkörper (11) ein Einlassventil, ein Dichtsitz, ein Führungsbereich einer Einspritznadel oder ein Sitzbereich einer Einspritznadel eines Einspritzsystems oder eines Einspritzventils ist.

11. Verwendung des Bauteils eines Verbrennungsmotors nach einem der vorangehenden Ansprüche in einem mit einem trockenen Gas wie Ergas oder Wasserstoff als Brennstoff oder unter ölfreien und/oder wasserfreien Verbrennungsbedingungen betriebenen Verbrennungsmotor.

12. Gasmotor, insbesondere Ergasmotor oder Wasserstoffmotor, mit einem Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 10.

24.07.02 Kut/Oy

5 ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

Bauteil eines Verbrennungsmotors mit einem tribologisch beanspruchten Bauelement

10

Zusammenfassung

15

Es wird ein Bauteil eines Verbrennungsmotors, insbesondere ein Einspritzsystem oder ein Einspritzventil, mit einem tribologisch beanspruchten Bauelement (10), insbesondere einer Einspritznadel, mit einem sich bei Betrieb relativ zu einem Gegenkörper (11) bewegendem und dabei tribologisch beanspruchten Oberflächenbereich (12) vorgeschlagen, wobei der Oberflächenbereich (12) eine zumindest weitgehend anorganische Hartstoffbeschichtung (14) aufweist. Das Bauteil eignet sich besonders zum Einsatz in einem mit trockenem Gas wie Ergas oder Wasserstoff als Brennstoff oder einem unter ölfreien und/oder wasserfreien Verbrennungsbedingungen betriebenen Verbrennungsmotor. Daneben wird ein Gasmotor mit einem derartigen Bauteil vorgeschlagen.

20

Figur 1

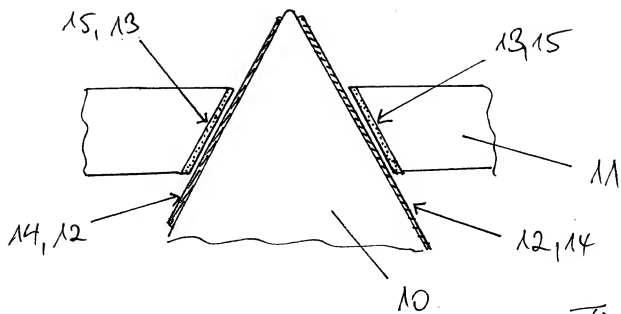


Fig. 1